

dc_1939_21

MTA Doktori Értekezés tézisei

A lokális klímazónák városklimatológiai alkalmazása

Gál Tamás

Szeged
2022

Bevezetés, célkitűzés

Napjaink egyik, talán legfontosabb feladata az éghajlatváltozás és hatásainak pontos megismerése. Számos vizsgálat fókuszál erre a témára és sorra fogalmazódnak meg újabb tudományos kérdések is. A közelmúlt változásai a méréseknek köszönhetően jól ismertek és az éghajlat várható alakulásáról számos modell alapján egyre részletesebb kép rajzolódik ki. Meg kell azonban jegyezni, hogy mind a mérések, mind a klímamodellezés szempontjából a városi területek – térbeli léptékükből adódóan – kevésbé vizsgáltak és ismertek, holott napjainkra a világ népességének jelentős része már a városokban koncentrálódik.

A településeken a természetes területektől jelentősen eltérő felszín, geometria és humán aktivitás miatt egy sajátos éghajlat, a városklíma alakul ki. A városklíma számos éghajlati és meteorológiai tényezőre hat, így például a szélre, csapadékra, légnedvességre, azonban a legjelentősebb hatás a termikus viszonyok esetén tapasztalható. Fontos tehát azt elemezni, hogy a változó éghajlat és a városklimatikus hatások eredőjeként milyen éghajlati viszonyok jönnek létre a globális és a hazai lakosság döntő többségére ható légköri közegben.

A városklimatológiában a hagyományos megközelítés hosszú évtizedekig a város-vidék különbségek vizsgálata volt. Belátható azonban, hogy a városi beépítés nem homogén, nem jellemezhető egy teljes városra kiterjedő területi átlaggal vagy akár néhány kiragadott helyszínre vonatkozó mérésekkel. Ugyanígy a városokat körülvevő vidéki terület sem egységes, fontos a természetes felszínnek jellege. Ennek a hagyományos megközelítésnek a hiányosságait már viszonylag hamar felismerték és igyekeztek különböző felszínosztályozások alkalmazásával kiküszöbölni ezt a túlzó leegyszerűsítést.

A városklimatikus célú felszínosztályozások kapcsán az áttérés bő évtizede történt a lokális klímazónák (LCZ)

rendszerének megalkotásával, ami egy globálisan alkalmazható, kellően egyszerű felszínosztályozási rendszer. A beépített területek tipizálása során a városi felszín hőmérsékletmódosító hatása állt a középpontban, így a kapott felszínosztályok lényegében a várható termikus hatások alapján különítik el ezeket a területeket. Az osztályozás fő célja kezdetben a városi mérőhelyek környezetének jellemzése volt, annak érdekében, hogy a különböző városokban végzett mérési adatok összehasonlíthatók legyenek.

Az LCZ rendszer kialakítását folyamatosan követtem, és elég korán felmerült bennem, hogy a rendszer a városi területekre kiterjedő térképezésnek is az alapja lehet. A lokális klímazónák térképezése lehetővé teszi, hogy a városi termikus viszonyokról egy előzetes képünk legyen, amit felhasználva célzottan lehetne telepíteni reprezentatív városi mérőállomásokat is, bízva abban, hogy így pontosabban megismerhetjük a városok hőmérsékletmódosító hatását és e hatások városon belüli eltéréseit. Az LCZ térképezés másik nagy lehetősége a városi léptékű időjárás és klímamodellezés, tekintve, hogy az eleve termikus szempontból homogén felszínborítási osztályok segíthetik pontosan leképezni a városok termikus reakcióit a modellekben.

Munkám céljai a következők:

1. Az LCZ osztályok városi területeken történő térképezésének kidolgozása.
2. Az LCZ rendszerre reprezentatív városklíma monitoring hálózat létrehozása.
3. Az így létrehozott megfigyelő rendszer adatainak felhasználásával a lokális klímazónák komplex városklimatológiai elemzése.
4. Az LCZ térképezésre és a monitoring rendszer mérési adataira építve a lokális klímazónák beépítése városi léptékű időjárás és klíma modellekbe.

5. Az éghajlatváltozás és a városklíma interakcióinak feltárása és jövőbeli projekciója.

6. Az LCZ rendszer alkalmazása klíma adaptációs és városklíma mitigációs modellkísérletekben.

Az eredmények tézisszerű összefoglalása

A lokális klímazónák térképezésének területén a következő eredményeket értem el:

I. Kidolgoztam a lokális klímazónák térképezésének szubjektív módszerét (Unger et al. 2011). A munka keretében publikált térkép az első példa a lokális klímazónák ezirányú alkalmazásra.

II. Kidolgoztam egy objektív GIS alapú lokális klímazóna térképezési eljárás elvét és részleteit (Lelovics et al. 2014, Unger et al. 2014a). Felismertem, hogy a térképezés az általam korábban definiált telek poligonokon kell alapuljon. Elvi szinten kidolgoztam az osztályba sorolást végző fuzzy logikán alapuló számítást, valamint a telek poligonok összevonásának eljárását is.

III. Összehasonlítottam a GIS térképezési módszert a WUDAPT módszerrel (Gál et al. 2015, Bechtel et al. 2019a). Az összehasonlítás rávilágított arra, hogy a GIS alapú módszernek nagyobb az adatigénye és nehezebben alkalmazható tetszőleges helyszíneken, azonban a műholdkép feldolgozáson alapuló és így könnyebben alkalmazható WUDAPT módszer nem ad annyira pontos eredményt. Az összehasonlítás rámutatott arra is, hogy a GIS módszer telek poligon összevonási művelete városklimatológiai szempontból jelentősen javítja a végső térkép minőségét.

IV. Kidolgoztam külföldi partneremmel együttműködve egy kombinált LCZ térképezési eljárást, amely a WUDAPT módszer műholdkép osztályozásán és a GIS módszer telek poligon összevonásán alapul (Gál et al. 2015, Bechtel et al. 2019a). A

kidolgozott új eljárás reményeim szerint a jövőben felhasználásra kerül a WUDAPT projekt keretein belül és hozzájárul az LCZ rendszer további elterjedéséhez.

A lokális klímazónákon alapuló, reprezentatív városklíma monitoring rendszer telepítésével kapcsolatban a következő eredményeket értem el:

V. Felvázoltam a lokális klímazónákra reprezentatív monitoring hálózat mérési helyszíneinek kiválasztását célzó eljárás részleteit (Unger et al. 2011). Felismertem, hogy a helykiválasztás csak akkor lehet eredményes, ha a városi hősziget térbeli struktúrájára vonatkozó információ is figyelembe van véve a tervezés során.

VI. Elvi szinten kidolgoztam a lokális klímazónákra reprezentatív mérőállomás hálózat telepítésének módszerét (Lelovics et al. 2014, Unger et al. 2014a, 2015). A helykiválasztás a GIS módszerrel készült LCZ térképezési eljáráson, a statisztikai módszerrel becsült éves átlagos UHI térbeli szerkezetén és további szempontokon alapult. Elvi szinten kidolgoztam a mérőállomás elhelyezését optimalizáló iteratív számítást.

Az Urban-Path városklíma monitoring hálózat kapcsán az eredményeim a következők:

VII. Kidolgoztam a mérőállomások telepítésének és működésének részleteit (Unger et al. 2014c, 2015, 2017). Jelentős szerepet vállaltam a kiválasztott mérőállomás helyszínek mikroklimatikus szempontú értékelésében.

VIII. Kidolgoztam a monitoring rendszer működésének, adatkezelésének és feldolgozásának koncepcióját és annak egyes részleteit (Unger et al. 2014c, 2015, 2017). Kidolgoztam a humánkomfort paraméter számítás koncepcióját, valamint az ahhoz szükséges paraméterek számításának és közelítésének módszerét.

IX. A humánkomfort számolás érdekében kidolgoztam egy olyan eljárást, amellyel lehetséges a külterületi szélesség, felszínérdeesség és további mikroklíma mérések adatai segítségével az UCL-en belüli szélesség becslése (Unger et al. 2015).

A lokális klímazónákon alapuló városklimatológiai értékelés során elért eredményeim a következők:

X. Kidolgoztam az elvét annak, hogy hogyan alkalmazhatóak a mobil mérések adatai a lokális klímazónák hőmérsékleti összehasonlítása céljából (Lelovics et al. 2013, Unger et al. 2014b). A vizsgálat keretében a világon az elsők között sikerült bizonyítani, hogy a termikus sajátosságok alapján elkülönített LCZ osztályok valóban eltérő UHI viszonyokat eredményeznek.

XI. Az Urban-Path monitoring rendszer méréseit alkalmazva részletesen demonstráltam az egyes LCZ osztályok napi hőmérsékleti meneteinek eltéréseit (Unger et al. 2015, Lelovics et al. 2016, Skarbit et al. 2017).

XII. Kidolgoztam annak az elemzésnek a koncepcióját, amellyel lehetségessé vált kimutatni azt, hogy LCZ osztályokra vonatkozó átlagos léghőmérsékleti különbségek az éjjeli órák eltéréseiből adódnak (Lelovics et al. 2016, Unger et al. 2017, Skarbit et al. 2017).

XII. Felismertem, hogy a városi hűvös sziget a hazai viszonyok között is kialakul és jelentős hatással van a városi éghajlati viszonyokra jellemzően a nappali órákban (Lelovics et al. 2016, Skarbit et al. 2017).

XIII. Kidolgoztam annak a vizsgálatnak a koncepcióját, amellyel lehetséges a napi időjárási faktor felhasználásával a lokális klímazónák hőmérsékleti viszonyainak és több időjárási tényező együttes kapcsolatának az elemzése (Skarbit et al. 2018). Felhívtam a figyelmet arra, hogy az UHI nagysága a kompakt beépítés esetén erősen függ az időjárási helyzettől, addig az LCZ 9 esetén jóval kisebb az időjárás szerepe, valamint arra, hogy a 0,7 feletti időjárási

faktorral jellemezhető időjárási helyzetek mindegyike kedvező az UHI erős kifejlődése szempontjából.

XIV. Felismertem és demonstráltam, hogy a relatív nedvesség elemzése nem alkalmas arra, hogy a város légnedvesség módosító hatását vizsgáljuk (Unger et al. 2018b).

XV. Megvizsgáltam a lokális klímazónák légnedvességi viszonyait gőznyomás adatok alkalmazásával és rámutattam, hogy nincs egyértelmű különbség az LCZ területek nedvességi viszonyai között, valamint erősen dominálnak a mikro léptékű hatások (Unger et al. 2018a).

XVI. Kidolgoztam egy olyan módszert, amellyel lehetséges a város humánkomfort viszonyainak (PET) térbeli és LCZ szerinti számítása és elemzése (Unger et al. 2018c, Unger et al. 2020a). Az eredmények rávilágítanak arra, hogy hőhullámok idején a kompakt LCZ területeken jelentősen kitolódik a terhelő humánkomfort viszonyok időszaka.

XVII. Felismertem, hogy az lokális klímazónákban uralkodó termikus viszonyok összehasonlításának egy szemléletes és célravezető módja a klímaindexek alkalmazása (Lelovics et al. 2016, Unger et al. 2017). Az eredmények rávilágítottak arra, hogy a napi maximum alapján definiált klímaindexek esetén az LCZ-k termikus reakciói között alig ismerhető fel különbség azonban a napi minimum alapján definiált indexek esetén a különböző városi beépítést reprezentáló LCZ-k jelentős eltéréseket produkálnak.

A lokális klímazónákon alapuló klíma és időjárási modellezés kapcsán az eredményeim a következők:

XVII. Felismertem, hogy a lokális klímazónák alkalmazásával lehetséges pontosítani a városi léptékű klíma és időjárási modelleket. Irányítással kidolgozásra került az LCZ séma alkalmazása több ilyen modellben (WRF: Molnár et al. 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020, MUKLIMO_3: Skarbit, Gál 2016, Bokwa et al. 2018, 2019, Gál et al. 2021a, 2021b, modellek összehasonlítása: Gál et al. 2018). A kapott eredmények

rámutatnak arra, hogy főleg az éjjeli órákban a modellek pontosságán jelentősen javít az LCZ alkalmazása és jó alapot teremt a további ilyen irányú kutatások számára.

XVIII. Kidolgoztam a koncepcióját egy olyan elemzésnek, amely keretében lehetséges a Kárpát-medence jelentősebb városi területeire vonatkozó, terhelő termikus helyzeteket jellemző (trópusi éjszaka) klímaindex projekciója (Unger et al. 2020b, Gál et al. 2021b). A vizsgálat keretében rámutattam, hogy a klímaváltozás és a városklíma kölcsönhatása következtében a kompakt beépítésű területeken jelentősen nő a hőterhelés számos városban.

XIX. Felismertem és demonstráltam, hogy a lokális klímazónák rendszere, kombinálva városi léptékű klímamoddellel, alkalmas a növényzettel kapcsolatos várostervezési lépések klimatikus hatásainak elemzésére (Gál et al. 2021a, Skarbit et al. 2021).

XX. Az LCZ alapú városi léptékű klímamoddell vizsgálatok alapján megmutattam, hogy a városi területen, illetve azok környékén elhelyezett sűrű erdőhöz hasonlító parkok vagy védérdők klimatikus hatásai nem egyértelműen kedvezőek (Gál et al. 2021a, Skarbit et al. 2021). A vizsgálatok eredményei rámutatnak arra is, hogy a változatos jellegű zöldterületek (sűrű erdő, ligetes erdő, rövid növényzet) kombinációja jóval alkalmasabb a városi léptékű klíma mitigációs törekvések elősegítésére.

A dolgozat témakörében megjelent publikációim

- Bechtel B, Alexander PJ, Beck C, Böhner J, Brousse O, Ching J, Demuzere M, Fonte C, **Gál T**, Hidalgo J, Hoffmann P, 2019a: Generating WUDAPT Level 0 data—Current status of production and evaluation. *Urban Climate* 27, 24-45 (IF: 3,834, Q1, független idézők száma: 67)
- Bokwa A, Dobrovolný P, **Gál T**, Geletič J, Gulyas A, Hajto MJ, Holec J, Hollosi B, Kielar R, Lehnert M, Skarbit N, Stastny P, Svec M, Unger J, Walawender JP, Žuvela-Alois M, 2018: Urban climate in Central European cities and global climate change. *Acta Climatologica* 51-52, 7-35 (független idézők száma: 8)
- Bokwa A, Geletič J, Lehnert M, Žuvela-Aloise M, Hollósi B, **Gál T**, Skarbit N, Dobrovolný P, Hajto MJ, Kielar R, Walawender JP, 2019: Heat load assessment in Central European cities using an urban climate model and observational monitoring data. *Energy and Buildings* 201, 53-69 (IF: 4,867, D1, független idézők száma: 13)
- Gál T**, Bechtel B, Unger J, 2015. Comparison of two different Local Climate Zone mapping methods. *Proceedings of the 9th International Conference on Urban Climate* (független idézők száma: 45)
- Gál T**, Skarbit N, Molnár G, Gyöngyösi AZ, 2018: Weather and climate modeling possibilities using local climate zone concept and observation network in Szeged, Hungary. *Proceedings of the 10th International Conference on Urban Climate* (független idézők száma: 2)
- Gál T**, Mahó SI, Skarbit N, Unger J, 2021a: Numerical modelling for analysis of the effect of different urban green spaces on urban heat load patterns in the present and in the future. *Computers, Environment and Urban Systems* 87, 101600 (IF: 6,454, D1, független idézők száma: 9)
- Gál T**, Skarbit N, Molnár G, Unger J, 2021b: Projections of the urban and intra-urban scale thermal effects of climate change in the 21st century for cities in the Carpathian Basin. *Hungarian Geographical Bulletin* 70, 19-33 (Q2, független idézők száma: 2)
- Lelovics E, Unger J, **Gál T**, 2013: A lokális klímazónának termikus sajátosságainak elemzése—szegedi esettanulmány. *Légekör* 58, 140-144 (független idézők száma: 1)
- Lelovics E, Unger J, **Gál T**, Gál CV, 2014: Design of an urban monitoring network based on Local Climate Zone mapping and temperature pattern modelling. *Climate Research* 60, 51-62 (IF: 2,496, D1, független idézők száma: 113)
- Lelovics E, Unger J, Savić S, **Gál T**, Milošević D, Gulyás Á, Marković V, Arsenović D, Gál CV, 2016: Intra-urban temperature observations in two Central European cities: a summer study. *Időjárás* 120, 283-300 (IF: 0,49, Q3, független idézők száma: 8)

- Molnár G, Gyöngyösi AZ, **Gál T**, 2017: A városi hősziget vizsgálata meteorológiai modell segítségével Szegeden. *Légtér* 62, 130-135
- Molnár G, **Gál T**, Gyöngyösi AZ, 2018: Evaluation of a WRF-LCZ system in simulating urban effects under non-ideal synoptic patterns. *Acta Climatologica* 51, 57-73 (független idézők száma: 1)
- Molnár G, Gyöngyösi AZ, **Gál T**, 2019a: Integration of an LCZ-based classification into WRF to assess the intra-urban temperature pattern under a heatwave period in Szeged, Hungary. *Theoretical and Applied Climatology* 138, 1139-1158 (IF: 2,882, Q2, független idézők száma: 21)
- Molnár G, Gyöngyösi AZ, **Gál T**, 2019b: Modeling of urban heat island using adjusted static database. *Időjárás* 123, 371-390 (IF: 0,277, Q4, független idézők száma: 3)
- Molnár G, Kovács A, **Gál T**, 2020: How does anthropogenic heating affect the thermal environment in a medium-sized Central European city? A case study in Szeged, Hungary. *Urban Climate* 34, 100673 (IF: 5,731, Q1, független idézők száma: 9)
- Skarbit N, **Gál T**, 2016: Projection of intra-urban modification of night-time climate indices during the 21st century. *Hungarian Geographical Bulletin* 65, 181-193 (Q3, független idézők száma: 8)
- Skarbit N, Stewart ID, Unger J, **Gál T**, 2017: Employing an urban meteorological network to monitor air temperature conditions in the 'local climate zones' of Szeged, Hungary. *International Journal of Climatology* 37, 582-596 (IF: 3,76, Q1, független idézők száma: 99)
- Skarbit N, **Gál T**, Unger J, 2018: Evaluation of spatial and temporal distribution of air temperature in local climate zones based on long-term database in Szeged, Hungary. *Proceedings of the 10th International Conference on Urban Climate* (független idézők száma: 1)
- Skarbit N, Unger J, **Gál T**, 2021: Véderdő telepítésének lehetséges jövőbeli hatásai Szeged hőterhelésében. *Földrajzi Közlemények* 145, 288-299
- Unger J, Savic S, **Gál T**, 2011: Modelling of the annual mean urban heat island pattern for planning of representative urban climate station network. *Advances in Meteorology* 2011, 398613 (független idézők száma: 23)
- Unger J, Lelovics E, **Gál T**, 2014a: Local Climate Zone mapping using GIS methods in Szeged. *Hungarian Geographical Bulletin* 63, 29-41 (Q3, független idézők száma: 52)
- Unger J, Lelovics E, **Gál T**, Mucsí L, 2014b: A városi hősziget fogalom finomítása a lokális klímazónák koncepciójának felhasználásával—példák Szegedről. *Földrajzi Közlemények* 138, 50-63 (független idézők száma: 3)
- Unger J, Savic S, **Gál T**, Milošević D, Kosztolányi É, Marković V, 2014c: Urban climate and monitoring network system in Central European

- cities. University of Szeged, University of Novi Sad (független idézők száma: 10)
- Unger J, **Gál T**, Csépe Z, Lelovics, E, Gulyás Á, 2015: Development, data processing and preliminary results of an urban human comfort monitoring and information system. *Időjárás* 119, 337-354 (IF: 0,81, Q3, független idézők száma: 11)
- Unger J, Skarbit N, **Gál T**, 2017: Szegedi városklíma mérőállomás-hálózat és információs rendszer. *Légtér* 62, 14-118 (független idézők száma: 2)
- Unger J, Skarbit N, **Gál T**, 2018a: Absolute moisture content in mid-latitude urban canopy layer, Part 2: results from Szeged, Hungary. *Acta Climatologica* 51-52, 37-45 (független idézők száma: 3)
- Unger J, Skarbit N, **Gál T**, 2018b: Absolute moisture content in mid-latitude urban canopy layer, Part 1: A literature review. *Acta Climatologica* 51-52, 47-56 (független idézők száma: 4)
- Unger J, Skarbit N, **Gál T**, 2018c: Evaluation of outdoor human thermal sensation of local climate zones based on long-term database. *International Journal of Biometeorology* 62, 183-193 (IF: 2,377, Q2, független idézők száma: 28)
- Unger J, Skarbit N, Kovács A, **Gál T**, 2020a: Comparison of regional and urban outdoor thermal stress conditions in heatwave and normal summer periods: A case study. *Urban Climate* 32, 100619 (IF: 5,731, Q1, független idézők száma: 11)
- Unger J, Skarbit N, **Gál T**, 2020b: Projection of present and future daily and evening urban heat load patterns. *Acta Climatologica* 54, 19-27